

セミの羽化木選択行動について

静岡県立静岡高等学校
生物部 1年 白鳥紗羅

1 研究目的

セミの羽化については広く紹介されているが、そこに至るまでの行動について詳しく紹介する資料はほとんどない。そこで、7年前にクマゼミとアブラゼミの幼虫を対象にした羽化時の行動の調査を開始し、昨年「木に登り始めてから羽化に至るまでの過程」をまとめた。今年は新たに「地上に出てから木に登るまでの過程」を調査することにした。

セミは数年に渡る地中生活中に終齢幼虫になり、条件の整った夏の夜に地上に出て樹上で羽化して成虫になる。セミの成虫は形や色を捉える一対の複眼と、その中間に位置する光を感じる三つの単眼を持つ（友国 1999）が、地上に出た幼虫にも同様の眼が確認でき（図 1 改）、羽化直前の幼虫の眼にも成虫と同様の機能が整っていると考えられる。

過去の観察では、地中から出た幼虫は一目散に羽化する木などの場所（以降、羽化木とよぶ）へ前進し、一旦登ると地上に降りない。そこで、地表にいる短時間に行う羽化木の選択の時に、どのような判断と行動をするのかを調べることにした。



図1 アブラゼミ幼虫の複眼と単眼
複眼: 大きい一対、単眼: 矢印の小さい3つ。

2 研究方法

(1) 羽化台の色に対する反応、(2) 羽化台の高さに対する反応、(3) 羽化台の場所に対する反応、(4) 地面の色に対する反応、(5) 光源に対する反応、の5種類の実験を行った。

19時前後に羽化場所を決める前の幼虫を採集し、持ち帰って実験した。

幼虫の目標物として、高さ 90cm、直径 23cm 程度の円筒の根元に高さ約 12cm のタオルを巻いたもの（以降羽化台と呼ぶ）（図 2 省略）を作製した。光源として光量を調整した懐中電灯を用い、(1)～(3) は自然環境の月明かり程度の明るさを、(4) は照度数値の出るギリギリの暗さを、(5) はスタート地点が 0 lx でかつ部屋の壁まで照らす明るさを目指した。

実験は、光を完全に塞ぎ四方壁を 1.5m 程度の高さまで暗幕で覆った、2.7m×2.5m 程度の和室（琉球畳）で行った。(1)～(4) では羽化台と 1.5m 程度の高さの光源を設置し、(5) では地面近くに光源を設置して、スタート位置から前方に向けて、幼虫を一匹ずつ放して歩かせた。

(1)～(3) は、幼虫が最初に目指した場所「目標」と実際に登ろうとした場所「結果」、その羽化台の面（「明面」：光が当たっている面、「暗面」：光が当たっていない面、「境界域」：明面と暗面の境の 5 cm 程度の区域）を記録し、さらに (3) の光源前方設置（後述）では、影に覆われたスタート位置から左右の明るい地面に出る行動が見られたので、それも記録した。(4) は実際に乗った紙の色を記録し、(5) は光源に向かったか否かを記録した。また、同時に幼虫の様子を観察し、気付いたことを書きとめた。

5 種類の実験の詳細は以下の通りである。

(1) 羽化台の色に対する反応

羽化台の色を、白色と茶色にし、幼虫から 150cm の位置に 60cm の間隔で設置した。光源は幼虫の後ろ側中央に設置した（図 3 改）。照度は、懐中電灯が直接照らしている羽化台後方の暗幕が約 30 lx、羽化台前面



図3改 (1) 色の実験状況

は頂上根元共に0 lxだった。幼虫各種 10 匹ずつ用いて二度行い、一度目と二度目で白色と茶色の羽化台の位置を入れ替えた。

(2) 羽化台の高さに対する反応

羽化台茶を幼虫から 150cm の位置に 60cm の間隔で設置した。ただし、片方の羽化台は円筒を外し、高さ約 12 cm のタオルのみにした。光源は幼虫の後ろ側中央に設置した (図 4 改)。照度は、(1) と同様だった。クマゼミ幼虫 10 匹を用いて一度行った。アブラゼミは、クマゼミと同様の反応が予想できることと、日程の都合上実験を行わなかった。



図4改 (2)高さの実験状況

(3) 羽化台の場所に対する反応

4 台の羽化台 (A~D) を白色の円筒と茶色のタオルで作成した。幼虫から前方 125cm に羽化台 A、右前方 45° 125 cm に羽化台 B、左横 70 cm から後方へ 5 cm 下げた位置に羽化台 C、後方 50 cm に羽化台 D と、それぞれ距離と方向をずらして設置した。光源は、羽化台 A の後ろから幼虫方向 (前方設置) に、または羽化台 D から前方暗幕方向 (後方設置) に設置した (図 5 改)。照度は、前方設置では全ての羽化台の幼虫側根元で 0 lx だった。後方設置では羽化台 A 後方の暗幕を約 20 lx で照らし、羽化台の幼虫側根元は羽化台 A が約 0.3 lx で他 3 台は 0 lx だった。前方後方設置共に、目視では A、B、C、D の順に明るかった。幼虫各種 10 匹ずつ用いて二度行い、一度目は光源前方設置、二度目は光源後方設置にして行った。



図5改 (3)場所の実験状況
写真は光源前方設置。

(4) 地面の色に対する反応

羽化台茶を幼虫から 150cm の位置に設置し、光源は羽化台の後ろ側中央に設置した。スタート地点を覆う羽化台の影の左右外側地面に、それぞれ 55×150 cm の白色の模造紙と茶色のクラフト紙を貼った (図 6 改)。各紙上の 4 定点の照度を計り、左右の紙上が全く同じ照度になるように調整した。紙上の羽化台根元 1.5、1.0 lx、中央内側 0.8、0.6 lx、中央外側 0.6、0 lx、スタート位置横 0 lx だった。(実験初回が前、二度目が後ろの数値。) 幼虫各種 5 匹ずつ用いて二度行い、一度目と二度目で白色と茶色の紙の左右を入れ替えて照度を再設定して行った。



図6改 (4)地面色の実験状況

(5) 光源に対する反応

10 cm の透明筒の上に、下方に向けた懐中電灯を立てて、下面に鏡を置いた、ランタン状の光源を作成し、幼虫から 150cm の位置に設置した (図 7 改)。照度は、光源付近約 150 lx、光の輪の内側約 7 lx、光の輪の外側 3 lx、光源から 50 cm 約 0.5 lx、光源から 100 cm 0 lx、スタート地点 (光源から 150 cm) 0 lx だった。幼虫各種 5 匹ずつ用いて一度行った。



図7改 (5)光源の実験状況

3 結果と考察

各実験の結果データは省略し、ここでは分析結果を示す。

(1) 羽化台の色に対する反応

クマゼミの二度の結果をまとめて図 8~10 に示す。

- ・羽化台白が茶よりとても多く、暗幕はいない。(図 8)
- ・反復実験で同色の羽化台を選んだ個体が多い。(図 9)
- ・全個体が羽化台の境界域で登ろうとした。(図 10)
- ・全個体が中央側の境界域で登ろうとした。(観察)
- ・目標と結果が一致する個体が多かった。(観察)

アブラゼミの二度の結果をまとめて示したところ、クマゼミと類似する結果だったが、暗幕を選

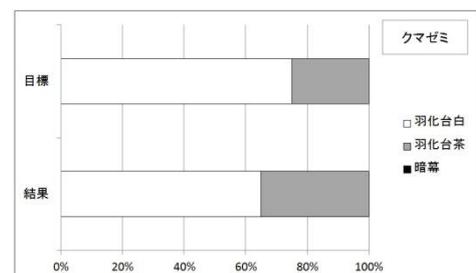


図8 クマゼミにおける羽化台の色に対する反応
外郭に暗幕を張った室内に並べて設置した白色と茶色の羽化台に向けて10個体の幼虫を二度歩かせて選ばせた。
目標: 最初に目指した場所、結果: 実際に登ろうとした場所。

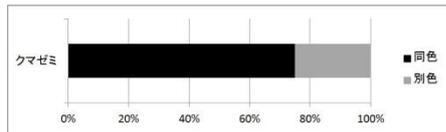


図9 クマゼミの同一個体における実験反復による羽化台色選択結果
一度目と二度目の実験で白色と茶色の羽化台の位置を入れ替えた。

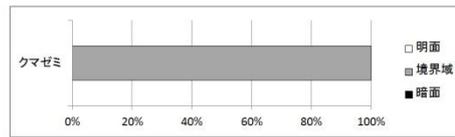


図10 クマゼミの羽化台色実験において登ろうとした羽化台の場所
明面: 明るい面、暗面: 暗い面、境界域: 両面の境の場所。

んだ個体がい
る点が異なっ
た。(図11～
13省略)

両種とも、目指した羽化台にそのまま到達する個体が多く（観察）、スタート時に目視で目指す場所を決めていると考えた。また、羽化台の色を左右変えても同色を選ぶ個体が多く（図9、図12省略）、位置でなく色で選択していると考えた。羽化台色は白色の方が多く選ばれ（図8、図11省略）、白色の方が茶色より認識しやすいと考えた。また、アブラゼミでは実験室外郭の暗幕を目指す個体が見られ、クマゼミと比較して、暗幕を立体物として認識する視野の広さと視覚の良さがあると考えた。

また、両種でほとんどの個体が羽化台の中央側の境界域とその近くの場所を選び（図10、図13省略、観察）、もう一方の羽化台に近い場所を目指していたことが示された。この理由として、A：一台の羽化台を目指しつつもう一台も選択肢に残っていて見比べるために二台の中央側に進んだということ、B：中央が明るいことで内側の羽化台外郭線を認識しやすくして目標にしたこと、の2つを考えた。

(2) 羽化台の高さに対する反応

二度の結果をまとめて示した（図14～15省略）ところ、全個体が円筒ありの羽化台（背の高い方）を選び（図14省略）、多くの個体が明面を選んだ（図15省略）。

クマゼミ全個体が背の高い羽化台を目指し登ったこと（図14省略）から、スタート位置で高さを認識していて、隣に高いものがある場合12 cm程度の低い高さの物は目指さない事が分かった。そして、上方への視野角がある程度広いと考えた。

また、(1)（図10）と異なり、多くの個体が羽化台の明面に到達した（図15省略）が、この違いは、スタート時から一台の羽化台だけを認識して目指した結果と考えた。そして、(1)でほぼ全てが中央側境界域に到達した理由は、前述A：二台の羽化台を選択肢にしていたためと考えた。

アブラゼミについては実験を行わなかったが、過去7年間の幼虫採集時の観察から、この点の両種の行動は酷似していると感じているので、同様の結果が得られると考えている。

(3) 羽化台の場所に対する反応

クマゼミの結果を図16～19（光源前方設置は図16、17、光源後方設置は図18）に示す。

- ・影の中となる前方設置のスタート時に、急角度で右または左の明るい地面に出る様子が見られた。（観察）
- ・前方設置のスタート時に影から出る時、左側に出た個体が多い。（図16）
- ・前方設置では、目標結果共羽化台Cが多い。（図17）
- ・前方設置の結果が羽化台Dだった個体は、前方後方設置共に目標のなしの同一個体で、迷走してぐるりと歩き続けた結果、羽化台Dに行きついた。（観察）
- ・後方設置では、目標は羽化台AとBが同数（40%）で結果はAが多い。（図18）

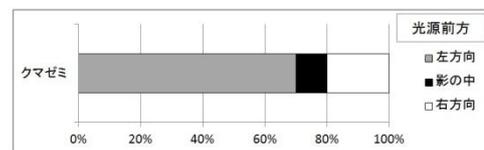


図16 クマゼミの羽化場所選び実験において
光源前方設置時にスタート地点を覆う影に対する反応

左方向: 急角度で左方向で脱出、
影の中: そのまま前進、
右方向: 急角度で右方向に脱出。

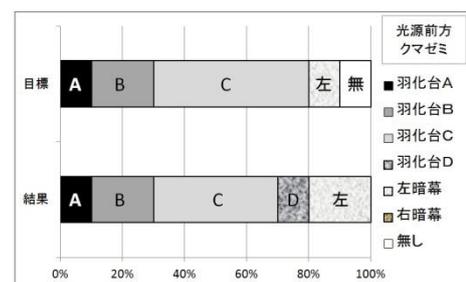


図17 クマゼミにおける羽化台の場所に対する反応(光源前方設置)
外郭に暗幕を張った室内で4つの羽化台A(正面)、B(斜め右前)、C(左斜め後ろ)、D(真後ろ)を設置し、10個体の幼虫を歩かせて選ばせた。
1個体は迷走したので目標を無しとした。
目標: 最初に目指した場所、結果: 実際に登ろうとした場所。

・後方設置では、羽化台Bを目指してから羽化台Aに変えて到達した1個体と迷走した1個体以外は、目標と結果が同じだった。(観察)

・多くが前方後方設置共に明面から登った。(図19)

アブラゼミの結果を示したところ、クマゼミと類似する結果だったが、前方設置で目標も結果も羽化台Bが多い点が異なった。(図20~23省略)

両種とも光源の場所に関わらず、スタート時に最短距離だが後方にある羽化台Dを目指す個体はなく(図17、18、図21、22省略、観察)、セミは視界に入っているものだけを羽化木の選択肢にして、前進しながら選ぶことが分かった。そこで、セミは基本的に地中から這い出た時に向いていた方向の木に登り羽化していると考えた。

また前方視野について、光源後方設置でスタート時から羽化台Bを目指す個体が両種共に40%もいる(図18、図22省略)ことから、羽化台Bが視野に入る90°以上であること、羽化台Cを目指す個体がほとんどいない(図18、図22省略)ことから、羽化台Cが視野に入らない180°以下であると判断した。そして、行動の様子から中間の135°程度であろうと考えた。

光源前方設置ではスタート位置が羽化台Aの影に覆われていて、両種ともまずその影から脱出する様子(観察)が、光源後方設置では前方向にある羽化台Aと羽化台Bに向かって進む様子が見られ(図18、図22省略)、光源の場所によって異なる動きをすることが分かった。

光源前方設置では、両種とも後方設置(図18、図22省略)でほとんど見られなかった羽化台Cが見られ(図17、図21省略)たが、これは、影から左の明るい地面を目指して進んだ個体の視野に、羽化台Cが入って到達した結果と考えている。

光源前方設置で、両種ともに、影から脱出する時に左の地面を目指す個体が多かった(図16、図20省略)が、これは、左前方には他の羽化台の影が無く、明るい地面が広く見えるからと考えた。

光源後方設置では、両種共に、スタート位置から同距離にあつて共に明面が見えている羽化台AとBで、羽化台Aの方が微妙に照度が高いにも関わらず、目指す個体は同程度だった(図18、図22省略)。これは、微妙な照度にこだわらずに好きな羽化台を選んでいることを示していると考えた。

また、到達した羽化台の面は両種共に明面が多く(図19、図23省略)、(1)の結果(図10)と相違し、(2)の結果(図15省略)と類似することから、羽化台の選択に迷わなかった結果と考えた。そして、光源前方設置と後方設置では明面の場所が反対側が変わるのにどちらの場合も明面が多いことから、意図的に明面を選んでいることが示唆された。そこで、見比べたい対象が無く一つの羽化台を選んだ時には、セミは明面を登ると考えた。

(4) 地面の色に対する反応

クマゼミとアブラゼミそれぞれの二度の結果をまとめて示したところ、両種とも白い地面を選ぶ個体が多かった。(図24省略)

白い地面も茶色い地面も同じ照度であるにも関わらず、白い地面を選ぶ(図24省略)ことから、進行方向選択においては、実際の明るさではなく目立って見えるかどうか優先されると考えた。

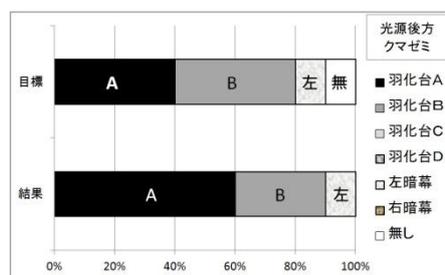


図18 クマゼミにおける羽化台の場所に対する反応(光源後方設置) 外郭に暗幕を張った室内で4つの羽化台A(正面)、B(斜め右前)、C(左横少し後ろ)、D(真後ろ)を設置し、10個体の幼虫を歩かせて選ばせた。1個体は迷走したので目標を無しとした。目標:最初に目指した場所、結果:実際に登ろうとした場所。

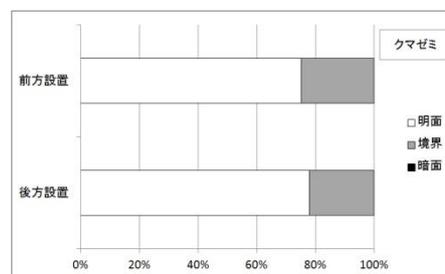


図19 クマゼミの羽化台場所実験において登ろうとした羽化台の場所 明面:明るい面、暗面:暗い面、境界:両面の境の場所。

(5) 光源に対する反応

クマゼミとアブラゼミの結果をまとめて示したところ、両種とも光源に向かう個体が多く（図 25 省略）、クマゼミは、光源に向かったが光の輪に入らず通り過ぎて暗幕に向かった個体があり（観察）、アブラゼミは、最初から光源でなく暗幕に向かった個体がいた（図 25 省略、観察）。

これまで、セミは光源そのものでなく照らし出された木（登れるもの）に向かっていると考えていたが、強い光に向かって進み、光源そのものに登ろうとする様子が見られたことで、両種とも光を嫌わず正の走光性を示し、クマゼミの方がより強い反応があると判断した。しかし、クマゼミ 1 個体は光の輪に入らずに奥の暗幕に向かい、アブラゼミには最初から暗幕を目指す個体がいる（図 25 省略）ことから、光源に向かった個体は登れるものを認識できなかった個体で、登れるものが認識できれば光源よりそちらに向かう性質があるという可能性が残った。

また、クマゼミの全個体が光源を目指したのに対し、アブラゼミでは暗幕を目指す個体が半数近くいたという結果（観察）は、(1) でクマゼミの全個体が羽化台を目指し、アブラゼミの一部が暗幕に向かった反応（図 8、図 11 省略）に類似し、アブラゼミはクマゼミより「視力が良く立体の認識を正確にしている」または「羽化木選択の選択肢が広い」可能性があると考えた。

以上より、セミは基本的に、穴から出たら前方に目標を定めて進むこと、左右視野はおそらく前方 135° 前後（180°C より小さいが 90°C より大きい）で上方視野はある程度広いこと、影の中にいる時はまず明るい場所に出ること、ぼんやりとした目視で目標を決めて近寄りながら登るものを決めること、白色を良く認識して目標を選ぶこと、目標の明るく見える面を目指して進み登ること、光を嫌わず正の走光性を示し特にクマゼミでは強い反応があること、また、アブラゼミには「視力が良く立体の認識を正確にしている」または「羽化木選択の選択肢が広い」というクマゼミとの違いがあることが示唆された。

また今回の実験では、(1) ~ (4) では形や色を判断する複眼の情報により行動し、(5) では光を感じる単眼の情報により行動する様子が見られた。

複眼は一般に周囲が明るい方が良く見える（パーカー 2018）ので、複眼で登る場所を見つけられなかった時に単眼で感じた明るい場所へと移動してから複眼で登る場所を探す可能性があり、(5) でクマゼミの 1 個体が光の輪に入らずに暗幕へ向かったのは、明るい場所にきたことで奥の暗幕を登れる場所として発見した結果の行動とも解釈でき、(3) の光源前方設置でまず影から出るという行動も明るい場所に移動して複眼で周囲を良く見るためとも考えられる。また (4) で同じ照度でも白い地面を選び、(1) で白い羽化台を選ぶことは、単眼からの情報より複眼からの情報を優先させていることを示唆している。そこで、光を感じる単眼の情報は、形や色を捉える複眼の情報を得るための補佐的役割を担っていると考えた。そして羽化木選びにおいては、高さや立体の判断をして目立つ色（白色）に向かうという行動を取ることから、主に複眼を使用していると考えた。これは、これまでの研究における、主に目視で羽化場所を選ぶようだという結論と類似している。

5 謝辞

論文執筆をご指導いただいた静岡県立静岡高等学校生物部顧問 稲垣聖二先生、これまでお世話になった静岡市立宮竹小学校と静岡市立南中学校の先生方ありがとうございました。

6 引用文献

スティーヴ・パーカー 2018 大英自然史博物館シリーズ 4 動物が見ている世界と進化 エクスナレッジ
友国雅章（監修） 1999 ニューワイド学研の図鑑昆虫 学研教育出版